

Nowe rozwiązanie prasy filtracyjnej PFK 570N

Streszczenie

Przedstawiono nową konstrukcję prasy filtracyjnej PFK 570N, przeznaczoną do odwadniania drobnoziarnistych produktów wzbogacania w zakładach mechanicznej przeróbki kopalń węgla kamiennego. Opisano rozwiązania konstrukcyjne tej prasy, podano parametry, opisano zmiany wprowadzone względem starej konstrukcji oraz pokazano metodykę projektowania i wykorzystanie narzędzi komputerowych wspomagania procesu projektowania. Określono kierunki dalszych prac modernizacyjnych i rozwojowych pras filtracyjnych projektowanych w ITG KOMAG.

Summary

New design of PFK 570N filtration press for dewatering of fine beneficiation products in hard coal mechanical processing plants in mines is presented. Design solutions of new press and its parameters are given, changes introduced to old design are described as well as designing methodology and use of computer tools aiding the designing are showed. Directions of further modernization and development work in the field of filtration presses designed at the KOMAG Institute of Mining Technology are determined.

1. Wprowadzenie

Prasy filtracyjne stosowane są w procesach przeróbki węgla, przy wzbogacaniu rud, w oczyszczalniach ścieków oraz w przemyśle spożywczym. Ich zaletami są: prosta budowa, wygodna obsługa, łatwy sposób dostosowania parametrów procesu filtracji i automatyzacja pracy.

W zakładach mechanicznej przeróbki węgla prasy filtracyjne stosowane są do odwadniania drobnoziarnistych produktów wzbogacania. Proces filtracji polega na oddzieleniu cieczy od części stałej. Dzięki ciśnieniu wywieranym na zawieszinę i filtr, ciecz zawarta w zawieszynie przechodzi przez szczeliny filtra, natomiast części stałe pozostają przed filtrem, tworząc placek filtracyjny. Proces filtracji jest złożony i zależny od wielu czynników m.in. od charakterystyki filtrowanej zawiesziny, wywieranego ciśnienia i rodzaju filtra [1, 2, 4].

W procesie filtracji wyróżnić można następujące etapy:

- zamknięcie płyt i docisk,
- napełnianie nadawą,
- utrzymywanie ciśnienia roboczego - właściwa filtracja,
- luzowanie płyt,
- rozsuwanie płyt i usuwanie placków filtracyjnych.

Uzyskiwane wilgotności odwodnionego materiału wynoszą od 33,0 ÷ 80,0% dla osadów pogalwanicznych, do 13,5 ÷ 20,0% dla koncentratów miedzi [7] i 18,0 ÷ 30,0% dla osadów węglowych [6, 7].

Prasy budowane są jako ramowe, komorowe i membranowe. Występują dwa rodzaje konstrukcji - z belkami bocznymi lub z belką górną [5,7].

W latach siedemdziesiątych XX wieku, w ówczesnym Centralnym Ośrodku Projektowo-Konstrukcyjnym Maszyn Górniczych KOMAG w Gliwicach, opracowano rozwiązania kilku typów pras filtracyjnych, m.in. prasę PF 570. Prasa ta była produkowana i modernizowana wspólnie z Fabryką Maszyn Górniczych Pioma i Rybnickimi Zakładami Naprawczymi, znajdując zastosowanie w większości zakładów mechanicznej przeróbki węgla. Po 40 latach eksploatacji urządzeń, wiele kopalń sygnalizuje potrzebę remontów lub gruntownej modernizacji posiadanych pras. Mając powyższe na uwadze, w ITG KOMAG podjęto prace mające na celu uaktualnienie dokumentacji prasy filtracyjnej PF 570, z zastosowaniem nowych materiałów i elementów, z uwzględnieniem obowiązujących norm, a także z wykorzystaniem doświadczeń z ponad czterdziestoletniej ich eksploatacji.

W pracach projektowych wykorzystano modelowanie 3D, z użyciem programu Autodesk Inventor. Wykonano model prasy PFK 570N oraz dokumentację 2D. Zastosowanie modelowania trójwymiarowego skróciło proces przygotowania dokumentacji oraz stworzyło możliwość analizy kolizji oraz automatycznego generowania widoków i przekroi. Zmniejszyło również liczbę błędów i usprawniło proces projektowania. Przeprowadzono także analizę wytrzymałościową elementów prasy za pomocą Metody Elementów Skończonych (MES).

2. Założenia projektowe

W oparciu o przeprowadzone analizy stosowanych rozwiązań, przyjęto następujące założenia projektowe:

- prasa komorowa z belkami bocznymi,
- docisk płyt hydrauliczny z centralnym siłownikiem,
- rozsuwanie płyt za pomocą mechanizmu łańcuchowego z zamkiem,
- grubość placka: $g=30$ mm,
- liczba płyt filtracyjnych: $i = 170$ oraz 2 stałe,
- wymiar płyty: $1500 \times 1500 \times 55$ mm, powierzchnia czynna jednej płyty: $A=1,8$ m².

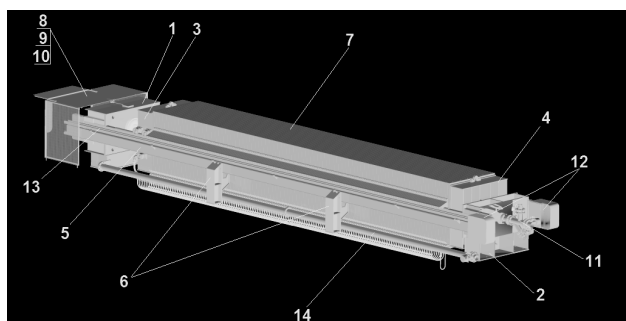
Przyjęto maksymalne ciśnienie w siłowniku wynoszące 40 MPa oraz maksymalne ciśnienie nadawy 1,5 MPa.

Jako opcje przyjęto:

- przedmuch placka,
- przepłukiwanie placka.

3. Konstrukcja prasy

Na rysunku 1 przedstawiono model 3D prasy PFK 570N. Urządzenie składa się z głowicy stałej z cylindrem (1), z którą powiązana jest głowica ruchoma (3), opierająca się na belkach (5). Belki podparte są wspornikami (6).



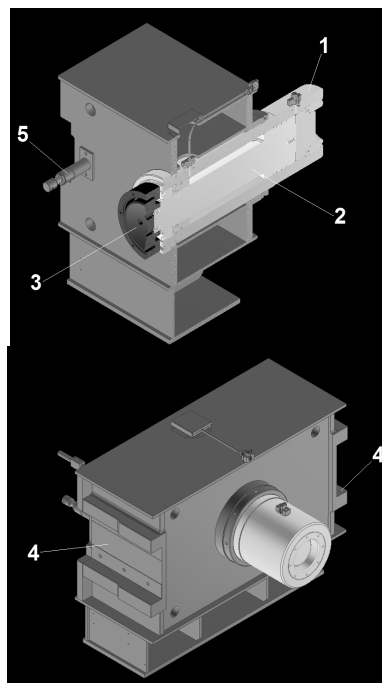
Rys.1. Model 3D prasy filtracyjnej PFK 570N [7]

Po przeciwległej stronie prasy znajduje się głowica stała z przegubem (2) oraz powiązana z nią głowica przegubowa (4). Pomiędzy głowicami: ruchomą i przegubową, znajdują się płyty filtracyjne (7) wraz z tkaniną filtracyjną. Płyty opierają się swobodnie na belkach, po których mogą się przesuwają. Po stronie głowicy ruchomej znajduje się agregat hydrauliczny (8) i część napędowa (9) układu rozsuwania płyt, obudowane osłoną (10). Po stronie głowicy przegubowej znajduje się układ doprowadzenia nadawy (11) i naciąg (12) układu rozsuwania płyt. Płyty rozdzielane są bezpośrednio mechanizmem rozsuwania (13). Prasa może być wyposażona w instalację przemywania placka filtracyjnego (14).

3.1. Głowica stała z cylindrem

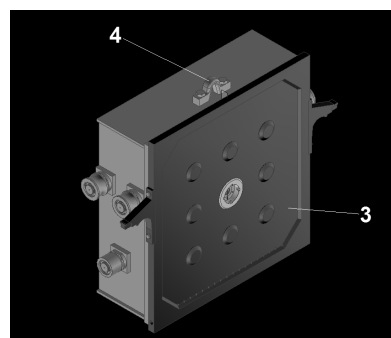
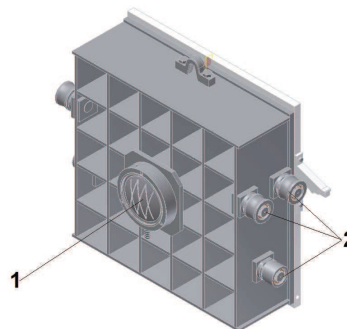
Głowica stała (rys.2), jest przestrzenną konstrukcją spawaną, z centralnie umieszczonym siłownikiem

hydraulicznym (1). Do tłoka (2) siłownika zamocowana jest nakładka oporowa (3), z powierzchnią sferyczną. Umożliwia to kompensację luzów i błędów położenia głowicy ruchomej. Po bokach głowicy znajdują się gniazda (4) do mocowania belek. Głowica stała posiada zderzaki (5) ograniczające ruch głowicy ruchomej. Skok siłownika wynosi 600 mm, zaś średnica tłoka 320 mm.



Rys.2. Głowica stała z cylindrem [7]

3.2. Głowica ruchoma



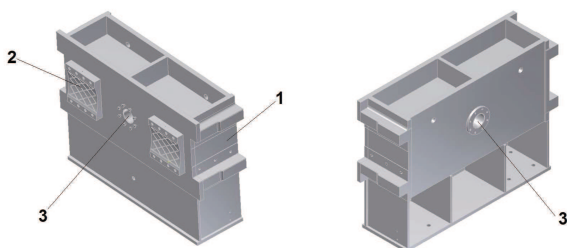
Rys.3. Głowica ruchoma [7]

Głowica ruchoma (rys. 3), jest przestrzenną konstrukcją spawaną, ze sferyczną powierzchnią (1)

współpracującą z nakładką oporową siłownika oraz rolkami (2), poruszającymi się po belkach nośnych prasy. Po stronie przeciwległej do powierzchni sferycznej, głowica posiada płytę filtracyjną skrajną (3). W górnej części głowicy znajduje się uchwyt transportowy (4).

3.3. Głowica stała z przegubem

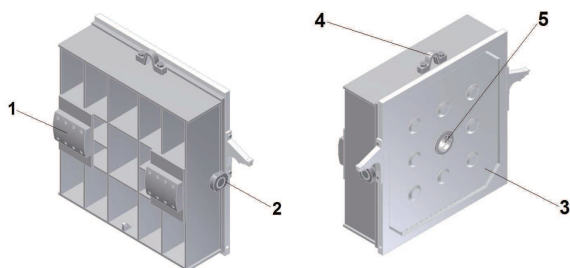
Głowica stała z przegubem (rys. 4), jest przestrzenną konstrukcją spawaną, wyposażoną w gniazda mocowania belek (1) oraz dwa gniazda przegubów (2), które umożliwiają wahadłowy ruch głowicy przegubowej. W centralnej części głowicy znajduje się otwór (3), którym transportowana jest nadawa.



Rys.4. Głowica stała z przegubem [7]

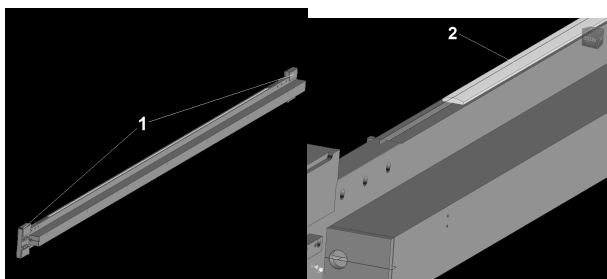
3.4. Głowica przegubowa

Głowica przegubowa (rys. 5), jest przestrzenną konstrukcją spawaną, z przegubami (1) i wahaczami (2), umożliwiającymi kompensację pionowych odchyłeń płyt filtracyjnych. Częścią głowicy jest płyta filtracyjna skrajna (3). Na górnej powierzchni głowicy zamocowany jest uchwyt transportowy (4). W centralnej części głowicy znajduje się otwór (5), którym transportowana jest nadawa.



Rys.5. Głowica przegubowa [7]

3.5. Belki



Rys.6. Belka [7]

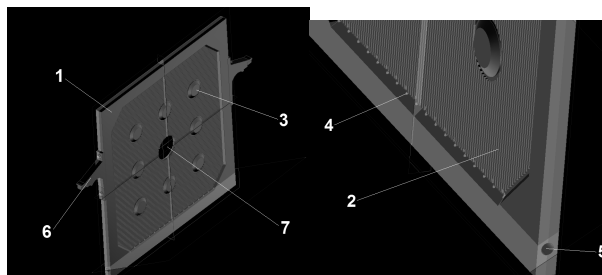
Belki (rys. 6), są głównymi elementami nośnymi. Są przestrzenną konstrukcją spawaną, z wypustkami (1) wchodzącymi w gniazda w głowicach oraz z powierzchnią ślizgową (2) dla płyt filtracyjnych. Belki są mocowane do głowicy stałej z cylindrem i stałej z przegubem.

3.6. Płyty filtracyjne

Płyta filtracyjna (rys. 7), złożona jest z głównej płyty (1) z rowkami (2), powierzchniami oporowymi (3), otworami spływowymi (4) i głównym kanałem (5) odprowadzającym odsącz oraz uchwytów (6), na których płyta opiera się na belkach. W centralnej części płyty znajduje się otwór (7), którym transportowana jest nadawa.

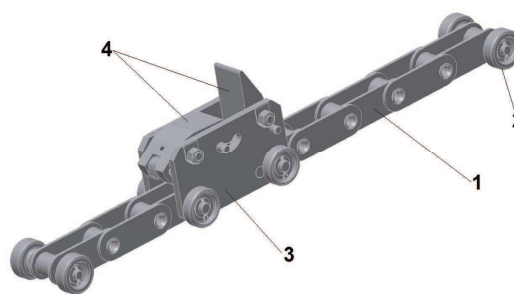
Płyta filtracyjna wyposażona jest w tkaninę filtracyjną. Dobór tkaniny przeprowadza się dla konkretnej nadawy i charakterystycznych warunków dla danej kopalni. Wstępnie założono stosowanie tkanin PT911 lub SPT77, jako często obecnie stosowanych w zakładach mechanicznej przeróbki węgla [7].

Ze względu na duże ciśnienie nadawy wynoszące 1,5 MPa, zasadne jest wykorzystanie dodatkowej warstwy wzmacniającej, umieszczonej między płytą, a tkaniną, np. tzw. "podkoszulek" SP22 OFTIM.



Rys.7. Płyta filtracyjna [7]

3.7. Układ rozsuwania płyt



Rys.8. Mechanizm rozsuwania płyt [7]

Układ rozsuwania płyt składa się z silnika hydraulicznego, reduktora zębatego, kół łańcuchowych, mechanizmu rozsuwania płyt oraz naciągu. Mechanizm rozsuwania płyt (rys. 8), składa się z łańcucha (1) z rolkami bocznymi (2) oraz wózka (3) z zaczepami (4). Podczas ruchu zaczepy rozsuwają płyty. Dosunięcie odsuwanej płyty filtracyjnej do poprzedniej wywołuje

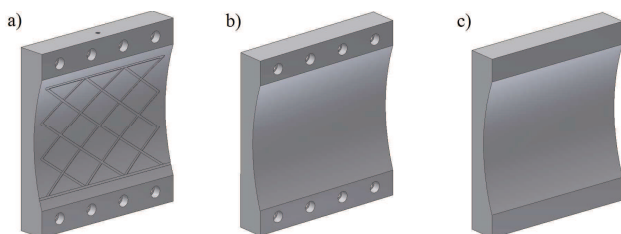
wzrost obciążenia, co jest sygnałem dla układu do zmiany kierunku ruchu.

Napęd z silnika hydraulicznego, zasilanego z głównej agregatu hydraulicznego prasy, przenoszony jest poprzez reduktor zębaty, na koła łańcuchowe. Długość łańcuchów jest dobierana według ilości płyt i długości belek tak, by wózek mógł poruszać się w całym zakresie płyt filtracyjnych. Aby zmniejszyć masę, cięgna odpowiadające za naciąg są wykonane z linek stalowych, zaś koła nawrotne są kołami linowymi. Do napędu dobrano silnik hydrauliczny o mocy 1 kW i ciśnieniu pracy 5 MPa.

4. Modelowanie 3D w procesie projektowania prasy

W celu przeprowadzenia analiz wytrzymałościowych utworzono uproszczony model prasy. Część symulacji przeprowadzono dla modelu z 25 płytami, ze względu na bardzo długi czas symulacji dla kompletnego modelu.

Wprowadzone uproszczenia wynikały również ze znacznych gabarytów urządzenia oraz dużej liczby elementów. Usunięto wszystkie elementy nieistotne z punktu widzenia wytrzymałości konstrukcji prasy. Stopień wykonanych uproszczeń uzależniono od rodzaju wykonywanych analiz. W przypadku analiz pojedynczych elementów, uproszczenia były mniejsze, natomiast w analizach całości konstrukcji prasy – większe (rys. 9). W modelu pominięto również nadlewy spoin [3].



Rys.9. Uproszczenie modelu płyty oporowej przegubu: a) pierwotna postać płyty, b) postać płyty do analizy pojedynczego przegubu, c) postać płyty do analizy całej konstrukcji prasy [7]

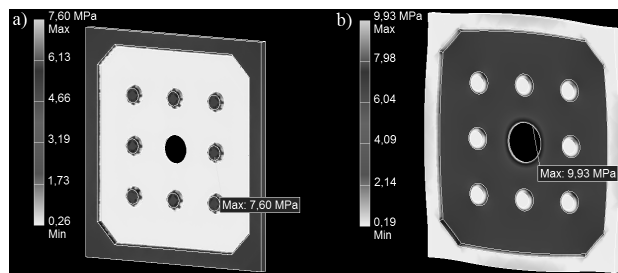
5. Analizy wytrzymałościowe

Obliczenia wytrzymałościowe Metodą Elementów Skończonych (MES) wykonano w programie Autodesk Inventor. Obliczenia podzielono na kilka etapów. W pierwszym etapie wykonano analizy pojedynczych, głównych elementów prasy, zaś w kolejnych zakres analiz rozszerzano o poszczególne zespoły, aż do analizy całości konstrukcji prasy.

5.1. Analizy głównych elementów prasy

W pierwszej kolejności wykonano analizy głównych elementów prasy, decydujących o poprawnej pracy: płyt filtracyjnych, elementów oporowych przegubów

występujących w głowicach oraz elementów siłownika. W modelach wprowadzono niewielkie uproszczenia. W celu zwiększenia dokładności zastosowano zagęszczenie siatki podziałowej.



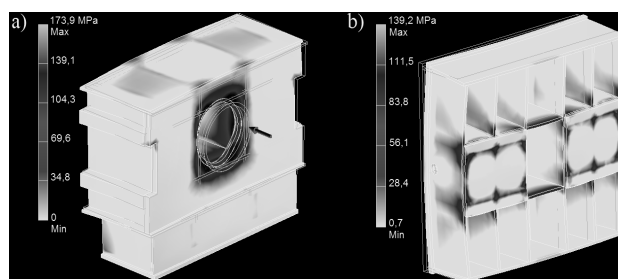
Rys.10. Wyniki analizy płyty filtracyjnej: a) naprężenia pochodzące od zadanej siły ściskającej (pochodząca od siłownika), b) naprężenia pochodzące od zadanej siły ściskającej i ciśnienia pochodzącego od nadawy, wynoszącego 1,5 MPa [7]

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe wyniki analiz płyt filtracyjnych, przy różnych rodzajach obciążeń. Rysunek 10a przedstawia płytę obciążoną jedynie siłą ściskającą, natomiast rysunek 10b – obciążoną dodatkowo od ciśnienia nadawy 1,5 MPa. W celu symulacji warunków zbliżonych do rzeczywistych użyto pakietu płyt połączonych ze sobą. Następnie "ukryto" wszystkie płyty, poza jedną, znajdującą się na środku pakietu, w stosunku do której zastosowano lokalne zagęszczenie siatki podziałowej.

Na tym etapie prac wykonano również analizy elementów oporowych przegubów występujących w głowicach oraz elementów siłownika. Ich przebieg był analogiczny jak w przypadku płyt filtracyjnych.

5.2. Analizy zespołów prasy filtracyjnej

W kolejnym etapie wykonano analizy poszczególnych zespołów prasy. Objęto nimi: wszystkie głowice prasy, belki nośne oraz zespół siłownika z tłoczyskiem. Na rysunku 11 pokazano przykładowe wyniki analiz głowic prasy.



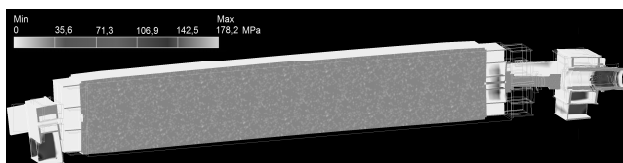
Rys.11. Przykładowe analizy poszczególnych zespołów prasy: a) głowica stała z cylindrem, b) głowica przegubowa [7]

Zastosowane modele charakteryzowały się większym stopniem uproszczenia niż w przypadku analiz opisanych w punkcie 5.1. Przyjęto siatkę podziałową o mniejszym zagęszczeniu, ze względu na większą złożoność modelu. Wyniki były bardziej zbliżone do stanu rzeczywistego niż w przypadku analiz pojedynczych elementów. Jest to efektem lepszego odwzoro-

wania rozkładu sił na poszczególnych elementach i występowania odkształceń elementów współpracujących ze sobą.

5.3. Analiza całości konstrukcji prasy

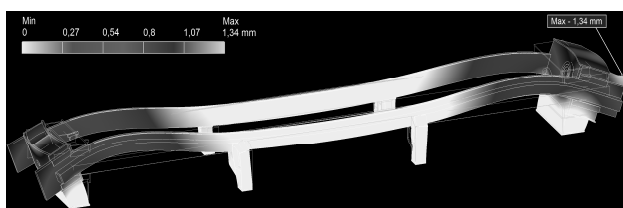
Do celów analizy całej konstrukcji prasy zastosowano model o największym stopniu uproszczenia. Ze względu na możliwości programu Autodesk Inventor, zastąpiono zestaw płyt jednolitym modelem, o odpowiadających mu wymiarach (rys. 12). Pozwoliło to na szybkie wykonanie analiz i uzyskanie wyników o wymaganej dokładności.



Rys. 12. Wyniki analizy całości konstrukcji prasy [7]

Modelowi nadano wiązania odpowiadające przytwierdzeniu prasy do podłoża. Obciążenia na konstrukcję zadano w postaci nacisków powierzchniowych, na wewnętrzne ściany siłownika. Wartość nacisków powierzchniowych wynosiła 40 MPa i odpowiadała maksymalnemu ciśnieniu czynnika roboczego zasilającego siłownik.

Uzyskane w wyniku analizy informacje były szczególnie cenne, ponieważ uwzględniały oddziaływanie pomiędzy poszczególnymi zespołami prasy. Podstawowym skutkiem tych oddziaływań są niekontrolowane odkształcenia konstrukcji prasy oraz dodatkowe naprężenia. Na rysunku 13 pokazano rozkład odkształceń występujących w głowicach stałych i belkach nośnych.



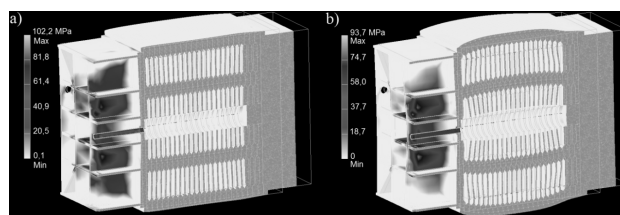
Rys. 13. Odkształcenia w głowicach i belkach bocznych prasy [7]

Poszukiwano rozwiązań zmierzających do zmniejszenia niekontrolowanych odkształceń w konstrukcji prasy, a tym samym do zmniejszenia naprężeń. Jednym z rozwiązań jest częściowe upodatnienie konstrukcji prasy, na przykład poprzez zapewnienie jednej z głowic oraz wspornikom swobody ruchu w ograniczonym zakresie, w kierunku działania siły pochodzącej od siłownika. Daje to możliwość kontrolowanego odkształcenia sprężystego belek nośnych i zapobiega niekontrolowanym odkształceniom głowic.

5.4. Analiza wpływu wartości ciśnienia nadawy na rozkład wartości naprężeń w głowicach

Wykonano również dwie serie analiz, które dotyczyły głowic bezpośrednio sąsiadujących z płytami filtracyjnymi, w zestawieniu z kilkoma skrajnymi płytami (rys. 14).

W pierwszej kolejności wykonano analizę z zadaną siłą ściskającą płyty. Odpowiadała ona sile wywołanej przez siłownik. Pozwoliło to na uzyskanie informacji o rozkładzie wartości naprężeń i odkształceń, jakie występują w czasie zamykania prasy (rys. 14a). Następnie dodano obciążenie w postaci nacisku powierzchniowego, na wewnętrzne ściany płyt filtracyjnych, odpowiadające wartości ciśnienia nadawy podawanej do prasy. Dla tak obciążonego modelu przeprowadzono serię symulacji, zmieniając wartość nacisku powierzchniowego w zakresie od 0 do 2 MPa. Na podstawie uzyskanych wyników określono wpływ wartości ciśnienia nadawy na rozkład wartości naprężeń i odkształceń w głowicach. Wyznaczono również przybliżoną wartość ciśnienia nadawy, przy której może nastąpić rozszczelnienie prasy. Przy wartości ciśnienia ok. 1,6 MPa stwierdzono możliwość utraty spójności pomiędzy krawędziami płyt filtracyjnych.



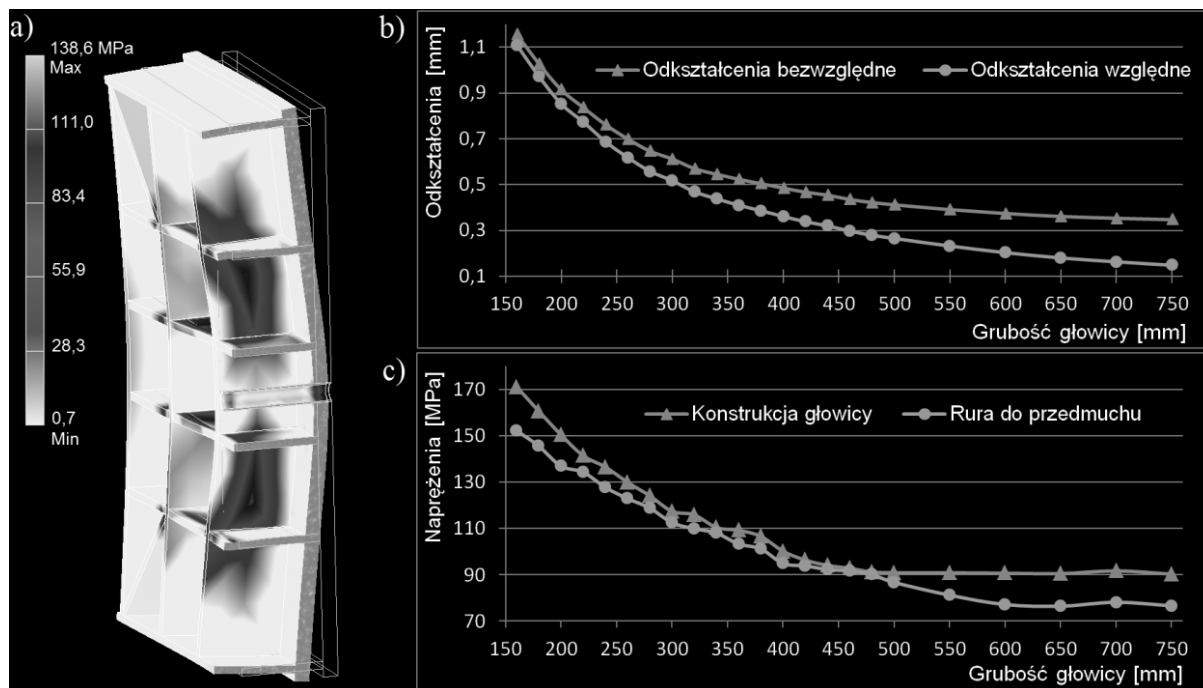
Rys. 14. Analiza głowicy ruchomej w zestawieniu z płytami filtracyjnymi: a) z zadaną siłą ściskającą, b) z zadaną siłą ściskającą i ciśnieniem 1,5 MPa pochodzącym od nadawy [7]

Z tego względu wartość ciśnienia nadawy 1,5 MPa traktować należy jak maksymalną, zaś prasa powinna pracować przy mniejszym ciśnieniu, rzędu 1,2 ÷ 1,4 MPa.

5.5. Analiza naprężeń i przemieszczeń w głowicy w funkcji jej grubości

Do celów analizy użyto modelu opisanego w punkcie 5.4. Głowicę obciążono siłą ściskającą oraz zadano obciążenie odpowiadające maksymalnej wartości ciśnienia nadawy - 1,5 MPa. Przeprowadzono serię symulacji, w których kolejno zmieniano grubość głowicy w zakresie od 160 do 750 mm. Wyniki analiz dla głowicy ruchomej przedstawiono na rysunku 15.

W czasie analiz wykorzystano funkcję parametryzacji modelu. Polega ona na połączeniu pliku modelu 3D z plikiem arkusza kalkulacyjnego, w którym definiuje się poszczególne parametry, przypisane do odpowiednich wymiarów modelu. Dzięki temu, zmieniając wartości parametrów w arkuszu, można sterować dowolnymi wielkościami modelu.



Rys.15. Wyniki analiz: a) model głowicy (grubość 220 mm), b) odkształcenia krawędzi głowicy, c) naprężenia w rurze do przedmuchu i w konstrukcji głowicy [7]

Wielkościami rejestrowanymi w czasie analiz były wartości odkształcenia krawędzi głowicy (rys. 15a) oraz występujące wartości naprężenia (rys. 15b). W przypadku odkształceń wyróżniono odkształcenia bezwzględne oraz względne, odniesione do powierzchni głowicy, do której przylegają płyty filtracyjne. Naprężenia rejestrowano dla konstrukcji nośnej głowicy oraz dla rury doprowadzającej powietrze do przedmuchu. Wynikało to z funkcji jakie pełnią oba elementy (zadaniem konstrukcji nośnej jest przenoszenie obciążeń, natomiast rura ma za zadanie doprowadzenie powietrza do komór filtracyjnych i powinna być obciążona w jak najmniejszym stopniu).

6. Zakres modernizacji

Na podstawie przeprowadzonych symulacji, analizy konstrukcji i analiz wytrzymałościowych, stwierdzono potrzebę:

- wzmocnienia konstrukcji głowicy stałej i ruchomej, szczególnie w rejonie cylindra hydraulicznego,
- zmniejszenia odkształceń belek prasy, poprzez upodatkowanie wybranych elementów, np. poprzez zapewnienie wspornikom lub głowicy stałej z przegubem możliwości przesuwu w ograniczonym zakresie,

Porównanie bazowej prasy PF570 ze zmodernizowaną prasą PFK 570N [7]

Tabela 1

Wielkość/cecha	PF570	PFK570N
liczba płyt	151+2 skrajne	170+ 2 skrajne
rozmiar płyty	1500 x 1500 x 62 mm	1500 x 1500 x 55 mm
materiał płyty	żeliwo/tworzywo sztuczne	polipropylen
masa płyty	630 kg/90 kg	80 kg
objętość komór	7,35 m ³	9,23 m ³
całkowita powierzchnia filtracyjna	576 m ²	613,8 m ²
masa prasy	127000 kg/40000 kg	40000 kg
ciśnienie nadawy	0,9 MPa	nominalnie 1,2÷1,4 MPa, maks. 1,5 MPa
ciśnienie zasilania siłownika	32 MPa	40 MPa
wymiary LxSxH	14965 x 2710 x 1675 mm	14590 x 2706 x 1690
mechanizm rozsuwania płyt	łańcuchowy z napędem hydraulicznym	łańcuchowo-linowy, napęd hydrauliczny z reduktorem zębatym

- zmniejszenia masy urządzenia,
- uproszczenia mechanizmu rozsuwania płyt i zastosowania łańcuchów o mniejszym rozmiarze,
- zastosowania kontroli położenia płyt filtracyjnych za pomocą dedykowanego układu elektronicznego/optycznego,
- eliminacji głowicy przegubowej z amortyzatorem oraz przegubów na głowicy stałej,

Dla poprawy bezpieczeństwa użytkownika zasadne jest zastosowanie automatycznego wyłączenia prasy w przypadku stwierdzenia obecności osób w niebezpiecznie bliskiej odległości. Systemy takie są coraz częściej stosowane w prasach filtracyjnych [7].

W tabeli 1 przedstawiono porównanie parametrów bazowej prasy PF570 ze zmodernizowaną prasą PFK 570N.

7. Podsumowanie

W ramach przeprowadzonych prac wykonano projekt prasy filtracyjnej PFK 570N. Wykonano modele 3D elementów prasy do analiz wytrzymałościowych oraz dokumentację techniczną urządzenia. Przeprowadzono analizy wytrzymałościowe elementów. Dobrano parametry pracy prasy, takie jak: ilość płyt, objętość komór oraz ciśnienia nadawy i siłownika docisku. Przygotowany projekt umożliwia jego elastyczne dostosowanie do wymagań klientów, poprzez możliwość zastosowania różnych tkanin, płócien wzmacniających oraz układów przemywania i przedmuchu.

Literatura

1. Battalia A.: Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze. Katowice 1963.
2. Blaschke S., Blaschke W.: Technika wzbogacania węgla, skrypt uczelniany nr 658, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1979.
3. Jankowski Ł., Garczyński Z, Czartoryski B. i inni: Opracowanie linii do gięcia belki czołowej wózka jezdnego wagonu kolejowego. Projektowanie i konstrukcje inżynierskie, 2012 nr 4 (55) s. 18-25.
4. Leszczyński S.: Filtracja w przemyśle. WNT. Warszawa 1972.
5. Nawrocki J.: Budowa i eksploatacja maszyn do odwadniania produktów wzbogacania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 1975.
6. Pyc A., Giemza H., Gruszka G., Lenartowicz M.: Odwadnianie flotokonzentratu węgla koksowego w prasach filtracyjnych komorowo – membranowych, Górnictwo i Geologia 2011, Tom 6, Zeszyt 2.
7. Tomas A., Matusiak P., Kwaśny K.: Nowe rozwiązanie prasy filtracyjnej typu KOMAG przeznaczonej do odwadniania produktów wzbogacania. ITG KOMAG, Gliwice 2012. (materiały nie publikowane).

Artykuł wpłynął do redakcji w marcu 2013 r.